

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 4015117 A1**

⑤1 Int. Cl. 5:  
**B21D 7/00**

②1 Aktenzeichen: P 40 15 117.4  
②2 Anmeldetag: 11. 5. 90  
④3 Offenlegungstag: 22. 11. 90

DE 4015117 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
15.05.89 JP 1-120894

⑦1 Anmelder:  
Nissin Seiki K.K., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:  
Sparing, K., Dipl.-Ing.; Röhl, W., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat.; Henseler, D., Dipl.-Min. Dr.rer.nat.,  
Pat.-Anwälte, 4000 Düsseldorf

⑦2 Erfinder:  
Murata, Makoto, Yokohama, Kanagawa, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Maschine zum Biegen eines stabförmigen Teils

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Biegen eines stabförmigen Teils, das durch einen Führungszylinder und ein Werkzeug in einen Zustand hindurchgeführt wird, indem die Mittelachse des Führungszylinders, durch den das Teil gerade geführt wird, relativ bezüglich des Zentrums eines Umlenkstücks des Werkzeugs versetzt ist, das einen Abschnitt des stabförmigen durch den Führungszylinder hindurchgeführten Teils zwangsmäßig umlenkt. Hierdurch wird ein leichtes Biegen mit hoher Präzision ohne Änderung der Querschnittsform und mit sehr guter Rundheit erreicht.

DE 4015117 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Maschine zum Biegen von stabförmigen Teilen wie hohlen Rohren, Profilen und Vollrohren.

Gebogene Teile von Rohren usw. werden auf den verschiedensten Gebieten zur Herstellung von Leitungen, in Förderungsanwendungen, für elektrische Anlagen im Haus, mechanische Strukturen usw. verwendet. Hierbei ist es üblich, das Biegen durch Pressen, Rollen oder dergleichen vorzunehmen.

Je weiter das Biegen Anwendung findet, desto mehr besteht der Bedarf, die Biegepräzision zu erhöhen und es zu ermöglichen, kontinuierliche und komplizierte Biegevorgänge durchführen zu können.

Aus der japanischen Patentanmeldung Sho 62-2 64 137 ist bekannt, zum Biegen von Rohren oder Profilen ein Werkzeug zu verwenden, das ein Umlenkstück aufweist, der einen Abschnitt des zu biegenden Teils zwangsweise umlenkt, wobei das Werkzeug gegenüber der Förderrichtung des Rohrs oder Profils geneigt ist. Aufgrund der mechanischen Faktoren kann hierbei jedoch die Präzision des Biegens kaum gesteigert werden und es lassen sich nur einfache Biegearbeiten vornehmen. Selbst für einfache Biegearbeiten werden relativ große Biegemaschinen erforderlich. Bei der Maschine der genannten japanischen Anmeldung kann zwar durch rotationsmäßige Steuerung des Werkzeugs die Biegepräzision verbessert werden, jedoch ist dieser Vorgang problematisch und aufwendig.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, die es ermöglichen, in einfacher Weise stabförmige Teile mit hoher Präzision zu biegen.

Erfindungsgemäß wird ein Führungsteil verwendet, das es ermöglicht, ein hohles oder volles stabförmiges Teil zwangsweise gerade hindurchzuführen, während ein Werkzeug mit einem Umlenkstück zum zwangsweisen Umlenken eines Abschnitts des stabförmigen Teils, das durch das Führungsteil hindurchgelaufen ist, vorgesehen ist, so daß das stabförmige Teil in das Führungsteil und in das Werkzeug eintritt, wobei die Mitte des Werkzeugs relativ zur Mittelachse des Führungsteils versetzt ist, wodurch das stabförmige Teil gebogen wird. Der Abstand, gemessen vom Führungsteil zum Werkzeug, ist vorzugsweise einstellbar, und das Werkzeug wird zweckmäßigerweise etwa 10° bis 20° relativ zur Mittelachse des Führungsteils geneigt.

Die Änderung des Querschnitts des stabförmigen Teils durch das Biegen kann stark begrenzt werden ebenso wie eine Verminderung der Wandstärke an der Außenseite eines gebogenen Rohrs. Die gebogenen Abschnitte sind im wesentlichen frei von Restspannung, es werden Teile mit ausgezeichneter Rundheit gebogen, während die Biegewinkel größer als 300° sein können. Es ergibt sich eine gleichmäßige Biegearbeit bei schwächerer Druckkraft. Es können komplizierte Formen mit gewünschten Biegeradien gebogen werden und die Biegemaschine erlaubt einen kompakten Aufbau.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Beschreibung und den Ansprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in den beigefügten Abbildungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Fig. 1 zeigt im Schnitt das Prinzip des Biegeverfahrens.

Fig. 2 zeigt schematisch den grundsätzlichen Aufbau

einer Biegemaschine.

Fig. 3 zeigt schematisch und perspektivisch eine Biegemaschine.

Fig. 4 zeigt ein Diagramm zum Einfluß des Versatzes auf den Biegeradius.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm zum Einfluß der Werkzeugneigung auf den Biegeradius.

Fig. 6 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen Biegeradius und Rundheit.

Fig. 7 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen Preßlänge und Preßkraft bei verschiedenen Werten für den Versatz.

Fig. 8 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen Preßlänge und Preßkraft bei verschiedenen Neigungswinkeln des Werkzeugs.

Fig. 9 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen dem Versatz und der Preßkraft.

Fig. 10 zeigt ein Diagramm zum Zusammenhang zwischen dem Neigungswinkel und der Preßkraft.

Fig. 11 zeigt ein Diagramm bezüglich der Flachung des Querschnitts in verschiedenen Biegeabschnitten.

Fig. 12 zeigt ein Diagramm zum Einfluß auf die Flachung des Querschnitts durch den Neigungswinkel des Werkzeugs.

Fig. 13 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen dem Biegeradius und der Flachung des Querschnitts.

Fig. 14 zeigt ein Diagramm bezüglich der Änderung der Wandstärke an der Innenseite von verschiedenen gebogenen Abschnitten.

Fig. 15 zeigt diagrammartig den Einfluß auf die Änderung der Wandstärke an der Innenseite bei verschiedenen gebogenen Abschnitten aufgrund des Neigungswinkels des Werkzeugs.

Fig. 16 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen den Biegeradien und den Änderungen der Wandstärke an der Innenseite von gebogenen Abschnitten.

Fig. 17 zeigt ein Diagramm zur Beziehung zwischen den Biegeradien und den Änderungen der Wandstärke an der Außenseite der gebogenen Abschnitte.

Fig. 18 zeigt schematisch den mechanischen und hydraulischen Teil einer weiteren Ausführungsform einer Biegemaschine.

Fig. 19 zeigt eine Frontansicht eines Werkzeughalters für die Biegemaschine von Fig. 18.

Fig. 20 zeigt ein Schaltkreisdigramm für den Hydraulikschaltkreis der Biegemaschine von Fig. 18.

Fig. 21 ist ein Schaltkreisdigramm eines Mikrocomputers für die Biegemaschine von Fig. 18.

Fig. 22 ist ein Flußdiagramm, das die verschiedenen Operationsschritte der Biegemaschine von Fig. 18 darstellt.

Gemäß Fig. 1 verläuft ein zu biegendes stabartiges Teil 1 durch einen Führungszylinder 2, wobei letzterer das Teil 1 zur Geradföhrung hiervon faßt. Ein Verformungswerkzeug 3 besitzt ein Umlenkstück 3a, der einen Abschnitt des stabförmigen Teils 1, das durch den Führungszylinder 2 gelaufen ist, erfaßt. Eine Antriebseinrichtung 4 zum Verschieben des Führungszylinders 2 und/oder des Verformungswerkzeugs 3 zum Ändern der Relativposition zwischen dem Führungszylinder 2 und dem Verformungswerkzeug 3, eine Eingabeinrichtung 5 zum Eingeben von Daten bezüglich mechanischer Eigenschaften des stabförmigen Teils 2 (Biegefestigkeit, Dehnung des Materials hiervon, Art des stabförmigen Teils 1, das heißt hohles Rohr, Profil oder Vollstab, Außendurchmesser, Dicke, usw.) und Biegebedingungen (Biegeungsradius, Rundheit, Flachheit des Querschnitts), ein erster Speicher 6 zum Speichern der über

die Eingabeeinrichtung 5 eingegebenen Daten, ein zweiter Speicher 7 zum Speichern von Daten bezüglich des Verstellungsbetrages für den Führungszylinder 2 und/oder das Verformungswerkzeug 3, die erforderlich sind, um die Biegearbeit entsprechend den oder spezifiziert durch die Daten zur mechanischen Natur des stabförmigen Teils 1 und den Biegebedingungen erforderlich sind, und eine Antriebssteuereinrichtung 8 zum Steuern der Antriebsmittel 4 auf der Basis der in dem ersten Speicher 6 gespeicherten Daten und unter Bezugnahme auf die in dem zweiten Speicher 7 gespeicherten Daten bezüglich des Verschiebungsbetrages sind vorgesehen. Die Anordnung ist derart getroffen, daß das stabförmige Teil 1 in den Führungszylinder 2 und das Verformungswerkzeug 3 eintreten kann, wenn das Zentrum des Umlenkstücks 3a des Verformungswerkzeugs 3 von der zentralen Achse des Führungszylinders 2 abweicht, wie in Fig. 1 und 2 dargestellt ist (wobei ein Versatz  $u$  reserviert ist). Dementsprechend wird das Verformungswerkzeug 3 von einem Halter über eine halbkugelförmige Buchse 9 gehalten, wobei das Zentrum der Buchse 9 mit dem Zentrum des Umlenkstücks 3a des Verformungswerkzeugs 3 zusammenfällt, wie aus Fig. 1 ersichtlich ist.  $d_0$  ist der Durchmesser des Umlenkstücks 3a des Verformungswerkzeugs 3, während  $\gamma$  den Verformungswinkel in Fig. 1 bezeichnet.

Wenn das stabförmige Teil 1 durch den Führungszylinder 2 und das Verformungswerkzeug 3 geführt wird, wenn das Zentrum des Umlenkstücks 3a des Verformungswerkzeugs 3 von der zentralen Achse des Führungszylinders 2 abweicht, wobei der Versatz  $u$ , wie in Fig. 1 ersichtlich, vorgesehen ist, wirkt das Umlenkstück 3a des Verformungswerkzeugs 3 zwangsmäßig lokal auf das Teil 1 ein, wobei der Gleitkontakt am Umlenkstück 3a zwischen Ober- und Unterseite unterschiedlich ist, so daß das Teil 1 um die Oberseite gebogen oder plastisch verformt wird, wo der Gleitkontaktbiegezustand der strammere ist. Hierbei sucht die Antriebssteuereinrichtung 8 nach Betätigungsdaten aus dem zweiten Speicher 7 auf der Basis der in dem ersten Speicher 6 gespeicherten Daten und liest diese aus und steuert die relative Position zwischen dem Verformungswerkzeug 3 und dem Führungszylinder 2 durch Steuern der Antriebssteuereinrichtung 4 auf der Basis der ausgelesenen Betätigungsdaten. Der zweite Speicher 7 optimiert bezüglich optimaler Biegebedingungen, indem die Betätigungsdaten für das Verformungswerkzeug 3 und/oder den Führungszylinder 2 (Versatz  $u$  und/oder Annäherungsweg  $v$ ) zu den mechanischen Eigenschaften des stabförmigen, zu biegenden Teils 1 und den Biegebedingungen in Korrespondenz gebracht werden. Dementsprechend wird automatisch eine optimale Relativpositionierung zwischen dem Verformungswerkzeug 3 und dem Führungszylinder 2 zum Ausführen der gewünschten Biegearbeit für das stabförmige Teil 1 eingestellt, indem einfach die Daten über die mechanischen Eigenschaften des Teils 1 und die gewünschten Biegebedingungen eingegeben werden.

Der Biegungswinkel wird durch Ändern des Abstandes (Annäherung  $v$ ) zwischen der Endfläche des Führungszylinders 2 an der dem Verformungswerkzeug 3 zugewandten Seite zum Mittelpunkt des Umlenkstücks 3a des Verformungswerkzeugs 3 geändert. Die Biegebedingungen werden durch Verstellen des Verformungswerkzeugs 3 und/oder des Führungszylinders 2 in einer Ebene senkrecht zur Mittelachse des Führungszylinders 2 eingestellt. Hierdurch wird die Biegepräzision für das Teil 1 verbessert, da der Versatz  $u$  mit großer Präzision

durch einen einfachen Mechanismus steuerbar ist. Wenn der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 auf  $10^\circ$  bis  $20^\circ$  eingestellt ist, ist es möglich, die Biegearbeit mit einer relativ schwachen Druckkraft durchzuführen. Da weiterhin ein genügender Raum zwischen dem Führungszylinder 2 und dem Verformungswerkzeug 3 vorgesehen werden kann, ist es möglich, das Teil 1 durch Steuern des Versatzes  $u$  um große Winkel und unter kontinuierlichem Ändern der Biegungswinkel zu biegen. Da des weiteren die Biegearbeit einfach durch den lokalen Gleitkontakt zwischen dem Umlenkstück 3a und dem Teil 1 aufgebracht wird, wird auf das Teil 1 nach dem Biegen keine übermäßige Restspannung ausgeübt, da der Außenumfang des Teils 1 während des Biegens zwangsmäßig durch das Umlenkstück 3a gestützt wird, so daß die Querschnittsform des Teils 1 nicht abgeflacht oder seine Wandstärke durch das Biegen nicht variiert wird.

Wenn Daten über eine zeitliche Variation der Biegebedingungen über die Eingabeeinrichtung 5 eingegeben werden, ist ein kontinuierliches Variieren des Biegens möglich, wobei der erste Speicher 6 die Daten speichert und die Antriebssteuereinrichtung 8 die Relativposition zwischen dem Verformungswerkzeug 3 und dem Führungszylinder 2 entsprechend dem Zeitverlauf auf der Basis der im Speicher 6 gespeicherten Daten und unter Bezug auf die in dem zweiten Speicher 7 gespeicherten Betätigungsdaten steuern kann. Wenn Daten zur zeitlichen Änderung der Biegebedingungen zunächst eingegeben und in dem ersten Speicher 6 gespeichert werden, betätigt die Antriebssteuereinrichtung 8 das Verformungswerkzeug 3 und/oder den Führungszylinder 2 derart, daß der Versatz  $u$  und die Annäherung  $v$  automatisch auf optimale Werte eingestellt werden. Mit anderen Worten, wenn die Biegebedingungen in dem ersten Speicher 6 entsprechend den Durchtrittslängen des Teils 1 und der Zuführzeiten gespeichert werden, liest die Antriebssteuereinrichtung 8 die Verschiebungsdaten aus dem zweiten Speicher 7 jedesmal aus, wenn das Teil 1 um eine vorbestimmte Länge durchgeführt wurde, oder eine vorbestimmte Zeit vergangen ist, und verstellt das Verformungswerkzeug 3 und/oder den Führungszylinder 2, um die Biegebedingungen entsprechend den Verstelldaten, die ausgelesen werden, einzustellen.

Nachstehend wird ein experimentelles Beispiel unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis 17 beschrieben.

Fig. 3 zeigt eine schematische und perspektivische Ansicht einer Ausführungsform der für das Experiment verwendeten Biegemaschine. Letztere besteht aus einem feststehenden Ständer 10 und einem damit einstückig verbundenen Rahmen 11. Das Verformungswerkzeug 3 ist in dem Rahmen 11 in einer vorbestimmten Position und einem vorbestimmten Winkel fixiert, während der Führungszylinder 2 auf dem Ständer 10 befestigt ist. Die relative Positionierung entsprechend Fig. 1 ist eingestellt und der Biegevorgang des stabförmigen Teils 1 wird durchgeführt, indem man dem Teil 1 erlaubt, durch den Führungszylinder 2 und das Verformungswerkzeug 3 durch Drücken vom rückseitigen Ende des Teil 1 her mit einem Hydraulikzylinder 12, der wie in Fig. 3 dargestellt befestigt ist, hindurchzutreten. Weiterhin ist zwischen einer Kolbenstange 12a des Hydraulikzylinders 12 und dem Teil 1 eine Kraftmeßdose 13 zum Messen der Druckkraft  $P$  für die Biegearbeit angeordnet, wobei Änderungen der Brückenausgangsspannung der Kraftmeßdose gemessen werden.

Im Experiment ist  $d_0$  auf eine konstante Länge von 20 mm eingestellt, S45 ist als Material für das Verfor-

mungswerkzeug 3 und chloriertes Öl entsprechend JIS-Klasse 2, Nr. 2 als Schmieröl ausgewählt. Ein Rohr mit einem Außendurchmesser von 20,0 mm und einer Wandstärke von 1,0 mm wird als stabförmiges Teil 1 verwendet. Das Rohr besteht aus Aluminium (A 1050TD), das keiner Wärmebehandlung unterworfen ist und eine Zugfestigkeit von 144 MPa und einen Dehnungswert von 3% aufweist. Ein dreidimensionales Mikrometer, ein Blattmikrometer und ein Halbkugel-Gegen-Halbkugel-endendes Mikrometer werden zum Messen des Innendurchmessers, des Außendurchmessers bzw. der Wandstärke des zu biegenden Rohrs verwendet. Zusätzlich werden zum Bewerten der experimentellen Ergebnisse folgende Variablen verwendet:

L: Rohrlänge, die durch den Hydraulikzylinder 12 verschoben wird

Rundheit:  $\alpha_c = R_{\max} - R_{\min}$  (mm)

Flachheit des Querschnitts:  $\alpha_f = (d_o - d_{\min})/d_o$

Änderung der Wandstärke:

$\alpha_i$  (innenseitiger Biegeabschnitt) =  $(t_{\max} - t_o)/t_o$

$\alpha_o$  (außenseitiger Biegeabschnitt) =  $(t_o - t_{\min})/t_o$

wobei

$R_{\max}$ : Maximalwert des Biegeradius

$R_{\min}$ : Minimalwert des Biegeradius

$d_{\min}$ : Minimalwert des Außendurchmessers

$t_{\max}$ : Maximalwert der Wandstärke

$t_{\min}$ : Minimalwert der Wandstärke

ist.

Die experimentellen Ergebnisse werden nachstehend unter Bezugnahme auf die Diagramme der Fig. 1 bis 17 beschrieben, die die erhaltenen Messergebnisse zusammenfassen.

#### Biegeradius

Fig. 4 zeigt den Einfluß auf den Radius R durch den Versatz u, wobei die Annäherung v als Parameter verwendet wird. Aus Fig. 4 ergibt sich deutlich, daß das Teil 1 stärker oder mit geringerem Krümmungsradius gegen die Mittelachse des Führungszylinders 2 gebogen wird, um so größer u und/oder umso kürzer v wird. Im einzelnen wird der Einfluß von u umso kleiner, umso größer u wird, und der Biegewinkel R wird in geringerem Maße für eine Änderung von u reduziert, wenn  $u/d_o$  0,5 überschreitet. Es lassen sich Biegewinkel bis herab zu  $R/d_o = 1$  erzielen, und zwar frei von Falten.

Eine Änderung des Neigungswinkels  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3, wie sie in Fig. 5 dargestellt ist, zeigt, daß der Neigungswinkel geringen Einfluß auf den Biegewinkel hat. Entsprechend hat der Werkzeugwinkel  $\gamma$  keine Neigung, einen Einfluß auf den Biegeradius auszuüben. Fig. 6 faßt Werte zur Rundheit  $\alpha_c$  zusammen, die in einem Biegeradiusbereich  $R/d_o$  von 1,8 bis 15 unter Verwendung der Annäherung v als Parameter gemessen werden. Zusätzlich wurden u, v und  $\psi$ , die Relationen zu Biegebedingungen besitzen, in den Bereichen, die in den vorstehenden Diagrammen spezifiziert sind, variiert. Wie aus dem Diagramm von Fig. 6 ersichtlich ist, werden Rundheiten  $\alpha_c$  innerhalb eines Toleranzbereichs von 0,03 mm bei allen Biegeradien erzielt, wenn die Biegebedingungen adäquat ausgewählt sind, obwohl eine Tendenz bemerkbar ist, daß die Rundheit sich verschlechtert, wenn der Biegeradius kleiner wird.

#### Druckkraft für Biegeradius

Fig. 7 und 8 zeigen die Beziehung zwischen der Kraft P, die von dem Hydraulikzylinder 12 erzeugt wird, damit das Teil 1 für den Biegevorgang um die Durchschublänge L durchgeschoben wird. Der Versatz u wird bei Fig. 7 als Parameter angenommen, während bei Fig. 8 der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 als Parameter gewählt ist. P wird im Anfangsstadium der Biegearbeit groß, wenn das Teil 1 in das Biegewerkzeug 3 eintritt und gebogen wird, während P kleiner und im Stadium nach  $L/d_o = 3,0$  konstant ist, wo die Biegearbeit gleichmäßig sein sollte. Fig. 9 und 10 zeigen die Ergebnisse bezüglich des Einflusses auf die Druckkraft P durch den Versatz u und den Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 bei  $L/d_o = 5,0$ , wenn die Biegearbeit gleichmäßig ist. Von Fig. 9 ist ersichtlich, daß die Druckkraft P dazu neigt, bei irgendeinem Wert der Annäherung v anzusteigen, wenn der Versatz u zum stärkeren Biegen des Teils 1 größer wird. Weiter wird P erhöht, wenn die Annäherung v kleiner wird,  $u/d_o > 0,3$  und  $v/d_o = 1,0$ , wo das Teil 1 besonders stark gebogen wird. Ist die Kraft P minimal in einem Bereich, wo der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 etwa  $10^\circ$  bis  $20^\circ$  ist. Dies zeigt, daß das Teil 1 innerhalb dieses Bereichs des Neigungswinkels am gleichmäßigsten der Biegearbeit unterworfen wird, so daß das Verformungswerkzeug zweckmäßigerweise auf Neigungswinkel innerhalb dieses Bereichs eingestellt wird.

#### Änderung der Querschnittsform

Fig. 11 zeigt die Beziehung zwischen dem Biegewinkel  $\Theta$  und der Flachheit des Querschnitts  $\alpha_f$ . Der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 ist der Parameter und der Biegeradius R ist auf 110 mm zum Prüfen der Querschnittsänderung eingestellt. Wenn das Teil 1 in einem begrenzten Bereich an und um das Umlenkstück 3a gebogen wird, und da keine Restspannung nach der Biegearbeit auf das Teil 1 ausgeübt wird, ist die Flachheit des Querschnitts  $\alpha_f$  an allen Biegeabschnitten konstant. Wenn der Neigungswinkel  $\psi$  beispielsweise auf  $20^\circ$  eingestellt ist, zeigt das Teil 1 praktisch keine Änderung seines Querschnitts und die Flachheit des Querschnitts  $\alpha_f$  ist geringer als 0,3%.

Fig. 12 stellt den Einfluß der Flachung auf den Querschnitt  $\alpha_f$  aufgrund des Neigungswinkels  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 dar. Bei  $v/d_o = 2,0$  oder so, daß das Teil 1 nicht zu stark gebogen ist, zeigt der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3  $10^\circ$  übersteigend nahezu keinen Einfluß auf die Flachung des Querschnitts  $\alpha_f$  und eine Querschnittsänderung ist fast vollständig unterdrückt. Wenn andererseits  $v/d_o$  1,5 oder kleiner wird, hat die Flachung des Querschnitts  $\alpha_f$  einen Minimalwert bei etwa  $\psi = 15^\circ$  und dieser Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3, der die Kraft P minimiert, entspricht dem Minimalwert der Flachung des Querschnitts  $\alpha_f$  gemäß Fig. 10. Aufgrund dieser Tatsache macht es eine adäquate Auswahl des Neigungswinkels  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 möglich, das Teil 1 mit gleichmäßigem Gleitkontakt und keiner kräftigen Deformation in das Umlenkstück 3a des Verformungswerkzeugs 3 einzuführen, um die Kraft P und ebenso die Flachung des Querschnitts  $\alpha_f$  zu minimieren. Wenn der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 nicht adäquat relativ zur Durchführriichtung des Teils 1 gewählt wird, wird dagegen das Teil 1 kräftig eintreten und einem anderen Gleitkontakt als für das

Biegen erforderlich unterworfen, wodurch die Kraft  $P$  und die Flachung des Querschnitts  $\alpha_i$  vergrößert werden.

Fig. 13 faßt Werte für die Flachheit des Querschnitts  $\alpha_i$  zusammen, die für verschiedene Längen der Annäherung  $v$  und innerhalb eines Bereichs von  $R/d_0 = 1,8$  bis 35 erhalten werden. Es besteht die Tendenz, daß die Flachung des Querschnitts  $\alpha_i$  selbst bei dem gleichen Biegungsradius  $R$  erhöht wird, wenn  $v/d_0$  erniedrigt wird. Weiterhin wird die Flachung des Querschnitts  $\alpha_i$  für kleinere Werte des Krümmungsradius  $R$  vergrößert. Doch lassen sich Biegearbeiten mit  $\alpha_i$ , das unter 1% gedrückt ist, und mit einer minimalen Änderung des Querschnitts innerhalb eines Bereichs von  $R/d_0 = 4,0$  bis 20 durchführen, die die beste Rundheit in Fig. 6 insoweit ergeben, als adäquate Biegebedingungen gewählt werden.

#### Änderung der Wandstärke

Fig. 14 zeigt die Beziehung zwischen dem Biegewinkel  $\Theta$  und der Änderung der Änderung der Wandstärke  $\alpha_{ii}$  an der Innenseite der gebogenen Abschnitte des Teils 1, das dem Biegevorgang unterworfen worden ist. Der Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 ist ein Parameter und der Biegeradius  $R$  ist auf 110 mm zum Erhalten der in Fig. 14 aufgeführten Daten gewählt. Aus den gleichen Gründen, wie in Zusammenhang mit der Flachung des Querschnitts  $\alpha_i$  beschrieben sind, ist die Änderung der Wandstärke an allen gebogenen Abschnitten konstant.

Fig. 15 zeigt die Beziehung zwischen dem Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 und die Änderung der Wandstärke  $\alpha_{ii}$  an der Innenseite der gebogenen Abschnitte, während Fig. 16 die Beziehung zwischen  $R/d_0$  und der Änderung der Wandstärke  $\alpha_{ii}$  zeigt. Obwohl die Änderung der Wandstärke  $\alpha_i$  eine geringe Tendenz zeigt, mit einer Vergrößerung des Neigungswinkels  $\psi$  abzunehmen, ist die Änderung der Wandstärke  $\alpha_{ii}$  durch den Neigungswinkel  $\psi$  des Verformungswerkzeugs 3 kaum beeinflußt. Andererseits wird die Änderung der Wandstärke  $\alpha_{ii}$  stark durch den Krümmungsradius  $R$  beeinflußt und wird mit größer werdendem Krümmungsradius  $R$  größer.

Fig. 17 zeigt die Beziehung zwischen  $R/d_0$  und der Änderung der Wandstärke  $\alpha_{io}$  an der Außenseite der gebogenen Abschnitte. Da das Teil 1 gebogen wird, während es der Kompressionskraft unterworfen wird, die durch den Gleitkontakt erzeugt wird, haben die Änderungen der Wandstärke  $\alpha_{io}$  in den meisten Fällen positive Werte und negative Werte in höchstens 5% der Fälle. Im Gegensatz zu den konventionellen Biegemethoden, die immer die Wandstärke im Bereich der Außenseite der gebogenen Abschnitte reduzieren, wird erfindungsgemäß eine derartige Reduzierung vermieden, wenn die Biegebedingungen adäquat gewählt werden. Weiter wird eine Tendenz beobachtet, daß die Änderung der Wandstärke  $\alpha_{io}$  an der Außenseite der gebogenen Abschnitte veränderlich von dem Neigungswinkel  $\psi$  ( $= 0^\circ$  bis  $30^\circ$ ) des Verformungswerkzeugs abhängig ist.

Fig. 18 zeigt schematisch den mechanischen und hydraulischen Teil einer weiteren Ausführungsform, die einen Führungszylinder 21, einen Werkzeughalter 22, einen Ständer 23 zur Aufnahme des Führungszylinders 21, eine Führung 24 zum Führen des Führungszylinders 22, Rollen 25 zum Zuführen des stabförmigen Teils 1 in die Biegemaschine und Zylinder CY 1 und CY 1' (s.

Fig. 20) umfaßt, die an beiden Seiten des Führungszylinders 21 angeordnet sind und zum Verschieben des Werkzeughalters 22 längs der Führung 24 dienen (Zylinder CY 1' ist in Fig. 18 nicht dargestellt), während Hydraulikkreise OCH 1 und OCH 1' zum Betätigen der Zylinder CY 1 und CY 1' dienen. Ferner sind Hydraulikkreise OCH 2 und OCH 3 zum Betätigen von Zylindern CY 2 und CY 3 vorgesehen, die das Verformungswerkzeug 3, das von dem Werkzeughalter 22 aufgenommen ist, verstellen. Motoren M 1, M 2 und M 3 dienen zum Antrieb von Pumpen für die Hydraulikkreise OCH 1 bis OCH 3. Fig. 19 zeigt eine Frontansicht des Werkzeughalters 22, der aus einem äußeren Rahmen 26 und einem inneren Rahmen 27 besteht. Innerhalb des äußeren Rahmens 26 ist ein Führungsabschnitt 26a ausgebildet, der zum Führen des inneren Rahmens 27 nur in Richtung der y-Achse dient, während der innere Rahmen 27 von dem äußeren Rahmen 26 aufgenommen wird, wobei der Zylinder CY 3 eingebaut ist, um den inneren Rahmen 27 zu verstellen. Im inneren Rahmen 27 ist ein Führungsabschnitt 27a zum Führen des Verformungswerkzeugs 28 nur in Richtung der x-Achse ausgebildet, während das Werkzeug 28 in dem inneren Rahmen 27 gehalten und aufgenommen ist, wobei der Zylinder CY 2 zum Verstellen des Verformungswerkzeugs 28 eingebaut ist. An den vier Ecken des äußeren Rahmens 24 sind Durchtrittsöffnungen ausgebildet, die die Führung 24 aufnehmen, während auf beiden Seiten des äußeren Rahmens 26 Befestigungen 29 für Kolbenstangen der Zylinder CY 1 bzw. CY 1' vorgesehen sind. Dementsprechend wird der Werkzeughalter 22 durch die Zylinder CY 1 und CY 1' hin- und herbewegt und das auf dem Werkzeughalter 22 montierte Werkzeug kann innerhalb eines bestimmten definierten Bereichs über die Zylinder CY 2 und CY 3 in Optimale Positionen gebracht werden. Fig. 20 zeigt ein Schaltkreisdigramm für jeden der oben aufgeführten Hydraulikkreise, wobei zwischen dem Zylinder CY und einem elektromagnetischen Umschaltventil 31 ein Rückschlagventil 32 zum Verriegeln angeordnet ist und der Zylinder CY in optimalen Positionen gestoppt und verriegelt werden kann, indem ein Motor  $M_i$  und das Umschaltventil 31 durch Signale  $M_{Ci}$  bzw.  $B_i$  gesteuert werden. Die Steuersignale  $M_{Ci}$  und  $B_i$  werden von einem in Fig. 21 dargestellten Mikroprozessorschaltkreis abgegeben. Dieser Schaltkreis besteht aus einem ROM, der Steuerprogramme für die Biegemaschine speichert, einem RAM zum Speichern auf den neuesten Stand gebrachter Daten und Eingabedaten, einem EEPROM, das positionsmäßige Steuerdaten für das Verformungswerkzeug 28 speichert (Betätigungsdaten: Rotationsfrequenz usw. für jeden Motor  $M_i$ ), um Biegearbeit unter der Bedingung durchzuführen, die den Daten bezüglich der mechanischen Eigenschaften des zu biegenden Teils 1 und der Biegebedingungen entspricht, einem Betriebstor, einem Betriebstorinterface I/F und einem I/O-Tor, die durch Busleitungen miteinander verbunden sind, wie Fig. 21 zeigt. Das gesamte System wird durch eine zentrale Rechneinheit CPU gesteuert, die Programme aus dem ROM zwecks Ausführung ausliest.

Gemäß Fig. 21 werden folgende Operationen ausgeführt: Zunächst wird ein stabförmiges zu biegendes Teil ausgewählt und das Werkzeug 28, das einen Umlenkabschnitt entsprechend dem Querschnitt des stabförmigen Teils besitzt, wird ausgewählt und in den inneren Rahmen 27 (vgl. Fig. 19) eingesetzt. Danach werden Daten (D 1), die den Typ des ausgewählten stabförmigen Teils spezifizieren, d.h. Rohr, Profil oder Vollstab über das

Betätigungstor eingegeben, um die Auswahlflagge des RAM entsprechend der Auswahl auf ON zu setzen (Schritte 1 und 2). Da die Materialdaten, Außendurchmesser, Stärke usw. in diesem Zustand bekannt sind, werden diese Daten (D 2) über das Betätigungstor zusammen mit gewünschten Anfangsbiegebedingungsdaten (D 3), d.h. Daten zum anfänglichen Biegeradius usw. eingegeben. Diese Daten werden in dem RAM unter vorbestimmten Adressen gespeichert (Stufen 3 bis 6). Wenn Biegebedingungen nach einer bestimmten Zeit nach dem Beginn der Biegearbeit zu modifizieren sind, werden eine Zuführgeschwindigkeit vor der Änderung und die Daten in bezug auf die zu ändernden Biegebedingungen (Di) eingegeben. Diese Daten werden sequentiell ebenfalls in dem RAM unter vorbestimmten Adressen gespeichert (Stufen 7, 8 und 9).

Nachdem die vorstehend beschriebene Eingabe vervollständigt ist, wird der Befehl für das Ingangsetzen der Biegemaschine gegeben (Stufe 10), dann prüft die zentrale Rechneinheit die Daten D 1 bis D 3 im RAM, liest die Betätigungsdaten entsprechend D 1 bis D 3 aus dem EEPROM aus und erlaubt es dem I/O-Tor, die Steuersignale M<sub>Ci</sub> und B<sub>i</sub> (i = 1, 2, 3) auszugeben (Stufe 11). Die ausgegebenen Daten werden jedem Motor M<sub>i</sub> und jedem Hydraulikkreis OHC<sub>i</sub> eingegeben, um den Motor M<sub>i</sub> um den Betätigungsbetrag entsprechend den Daten D 1 bis D 3 anzutreiben und jeden Zylinder CY<sub>i</sub> über jeden Hydraulikkreis OHC<sub>i</sub> zu betätigen, wodurch der Werkzeughalter 22 als Ganzes, der innere Rahmen 27 hiervon und das Werkzeug 28 verstellt werden (Stufe 12). Wenn das Werkzeug 28 entsprechend dem Abstand und/oder Winkel entsprechend den Betätigungsdaten verstellt ist, wird das Werkzeug 28 in eine Anfangsposition hiervon gesetzt und das Umschaltventil 31 jedes Hydraulikkreises OHC<sub>i</sub> geschlossen, um das Werkzeug 28 zu verriegeln (Stufe 13). Nach Vornahme dieses Verriegelns wird das Fördern des stabförmigen, zu biegender Teils durch Drehen der Zuführrollen 25 gestartet, um es diesem Teil zu erlauben, von dem Führungszylinder in das Werkzeug 48 einzutreten (Stufe 14). Entsprechend wird das stabförmige Teil durch das Werkzeug 28 gebogen, das in der Position entsprechend den Daten D 1 bis D 3 eingestellt wird (Stufe 15). Die Biegearbeit wird daher derart ausgeführt, daß der Versatz u und die Annäherung oder der Abstand v optimal entsprechend den Daten D 1 bis D 3 bezüglich der mechanischen Eigenschaften des stabförmigen Teils und der Biegebedingungen eingestellt ist.

Die Zuführgeschwindigkeit FS für das stabförmige Teil wird immer in das I/O-Tor während der Biegearbeit eingegeben und von der Rechneinheit CPU überwacht. Wenn das Modifizierungsdatum Di zum Modifizieren der Biegebedingungen mit der Zeit in Stufen 8 und 9 eingegeben ist, vergleicht die Rechneinheit das Zuführgeschwindigkeitsdatum FS mit den Daten Di und, wenn beide Daten miteinander koinzident sind, liest diese die Betätigungsdaten aus dem EEPROM aus, die den Biegebedingungen der in dem RAM gespeicherten Daten D 1, D 2 und D 3 entsprechen, wonach das Werkzeug 28 auf eine modifizierte Position durch Steuern des Motors M<sub>i</sub> und des Umschaltventils 31 gebracht wird, wie oben beschrieben wurde (Stufen 17 bis 20). Hierdurch wird das Werkzeug 28 in die optimale Position entsprechend den Biegebedingungen der modifizierten Daten Di jedesmal gebracht, wenn die Zuführgeschwindigkeitsdaten der Modifizierungsdaten koinzident mit den aktuellen Zuführgeschwindigkeitsdaten FS sind, so daß das stabförmige Teil anschließend während des

Durchlaufs in die Form entsprechend den Biegebedingungen der Daten D 3 und D 4 bis D<sub>n</sub> (Stufen 21; 22 und 23) gebogen wird.

Ein stabförmiges Teil läßt sich hierdurch auch spiralförmig biegen, wenn die Maschine so konstruiert ist, daß das stabförmige Teil, das aus dem Werkzeugteil herauskommt, in eine Richtung senkrecht zu einer Ebene unter Biegung eines kreisförmigen Bogens gegen eine Platte gedrückt wird, die durch eine Antriebseinrichtung betätigt wird.

Anstelle der Hydraulikeinrichtungen in den obigen Ausführungsformen können auch Motoren wie Wechselstrom-Servomotoren verwendet werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Biegen eines stabförmigen Teils, wobei ein Werkzeug verwendet wird, das ein Umlenkstück zum zwangsmäßigen Einwirken auf einen Abschnitt des stabförmigen Teils zum Biegen hiervon aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Führungsteil (2, 21) zum zwangsmäßigen Abstützen des stabförmigen Teils (1) vor dem Verformungswerkzeug (3, 28) verwendet und das stabförmige Teil (1) hierdurch gerade geführt wird, und daß das stabförmige Teil (1) durch Hindurchführen durch das Führungsteil und das Werkzeug gebogen wird, wobei die Mittelachse des Führungsteils relativ zum Zentrum des Umlenkstücks (3a) des Werkzeugs versetzt ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (v) zwischen dem Führungsteil und dem Werkzeug variabel ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel ( $\psi$ ) des Werkzeugs relativ zur Mittelachse des Führungsteils im Bereich von etwa 10 bis 20° eingestellt ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel ( $\psi$ ) des Werkzeugs relativ zur Mittelachse des Führungsteils variabel ist.
5. Biegemaschine für stabförmige Teile umfassend ein Werkzeug (3, 28) mit einem Umlenkstück (3a) zum zwangsmäßigen Biegen eines Abschnittes eines stabförmigen Teils (1), dadurch gekennzeichnet, daß ein Führungsteil (2, 21) vor dem Werkzeug (3, 28) zur Geradführung des stabförmigen Teils (1), Antriebsmittel (4; CY 1, CY 1', CY 2, CY 3; OHC 1, OHC 1', OHC 2, OHC 3; M 1, M 2, M 3) zum Verstellen des Führungsteils und/oder des Werkzeugs zur Änderung der Relativposition zwischen dem Führungsteil und dem Werkzeug, eine Eingabeeinrichtung (5) zur Eingabe von Daten bezüglich der mechanischen Eigenschaften des stabförmigen Teils unter Biegebedingungen, ein erster Speicher (6, RAM) zum Speichern der eingegebenen Daten; ein zweiter Speicher (7, EEPROM) zum Speichern von Betätigungsdaten für das Führungsteil und/oder das Werkzeug zum Einstellen der Relativposition hierzwischen, die zum Durchführen der Biegearbeit entsprechend den im ersten Speicher gespeicherten und hierdurch spezifizierten Daten erforderlich sind, und eine Antriebssteuereinrichtung (8) zum Steuern der Antriebsmittel auf der Basis der im ersten Speicher gespeicherten Daten und unter Bezugnahme auf die in dem zweiten Speicher gespeicherten Betätigungsdaten vorgesehen sind.
6. Maschine nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß der Abstand (v) zwischen dem Führungsteil und dem Werkzeug variabel ist.

7. Maschine nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel ( $\psi$ ) des Werkzeugs relativ zur Mittelachse des Führungsteils im wesentlichen im Bereich von 10 bis 20° eingestellt ist. 5

8. Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Neigungswinkel ( $\psi$ ) des Werkzeugs relativ zur Mittelachse des Führungsteils variabel ist. 10

9. Maschine nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingabeeinrichtung die Eingabe von Daten zum zeitlichen Modifizieren der Biegebedingungen erlaubt und die Antriebssteuereinrichtung die Relativpositionen von Führungsteil und Werkzeug auf der Basis der Modifikationsdaten, die in dem ersten Speicher gespeichert sind, unter Bezugnahme auf die in dem zweiten Speicher gespeicherten Betätigungsdaten modifizieren kann. 15 20

Hierzu 12 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

— Leerseite —



FIG. 1

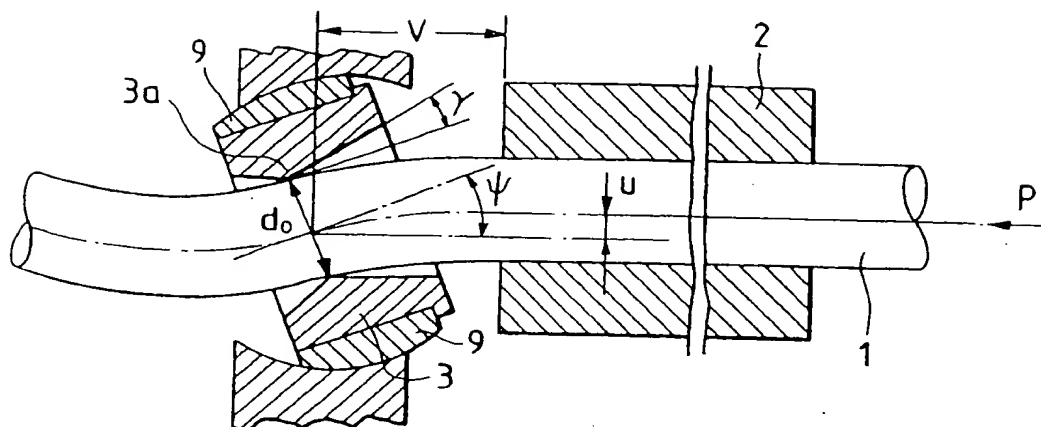


FIG. 2

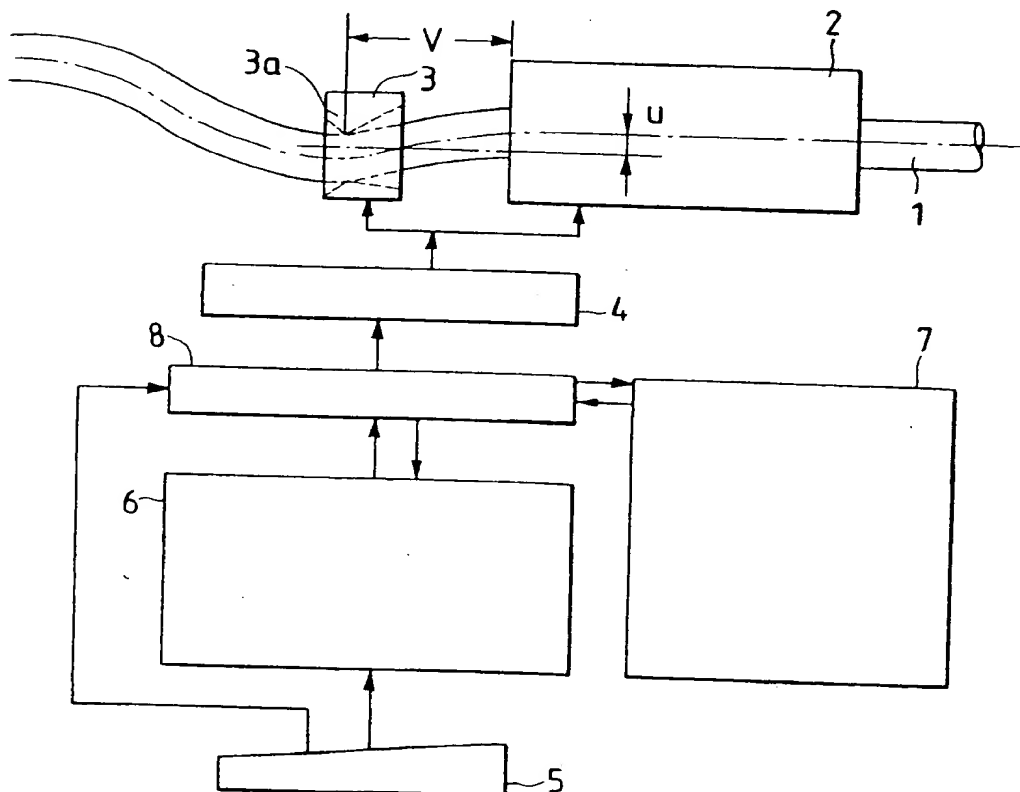


FIG. 3

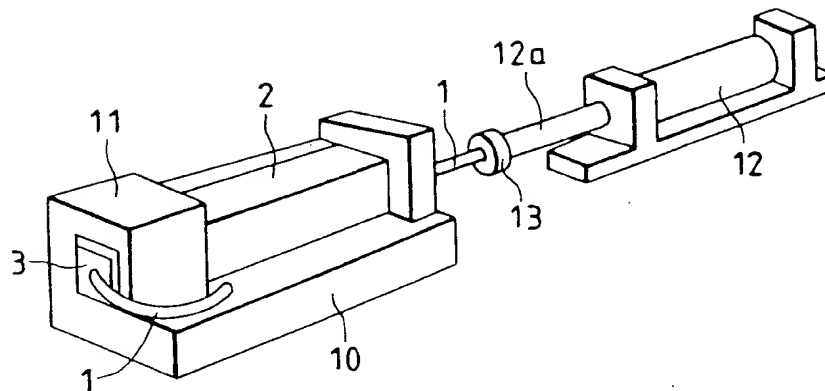


FIG. 4

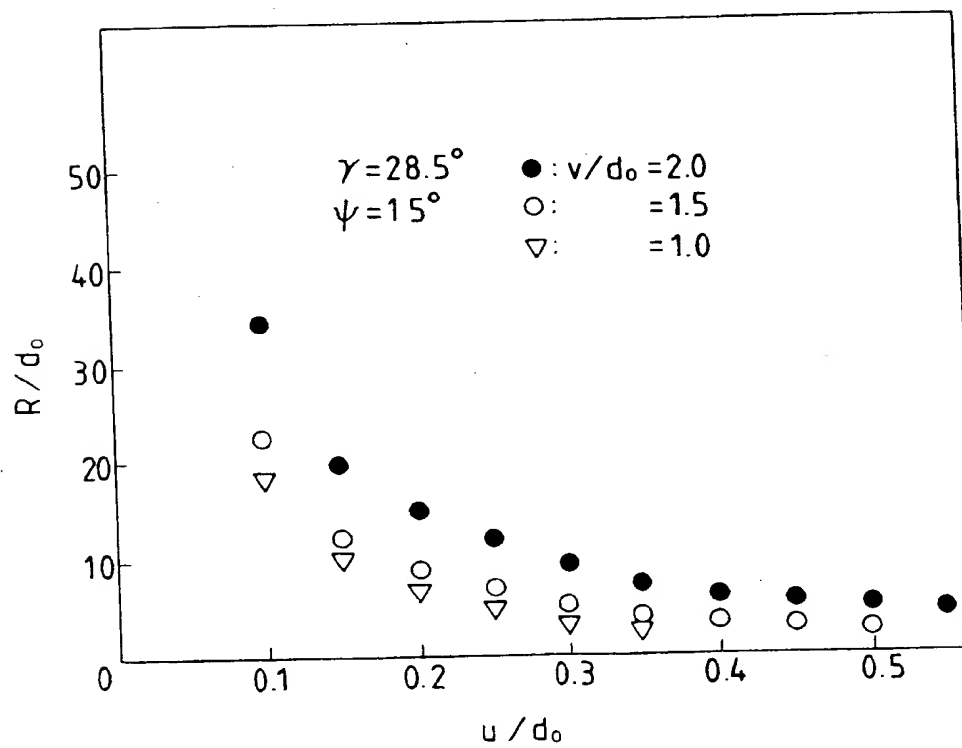


FIG. 5

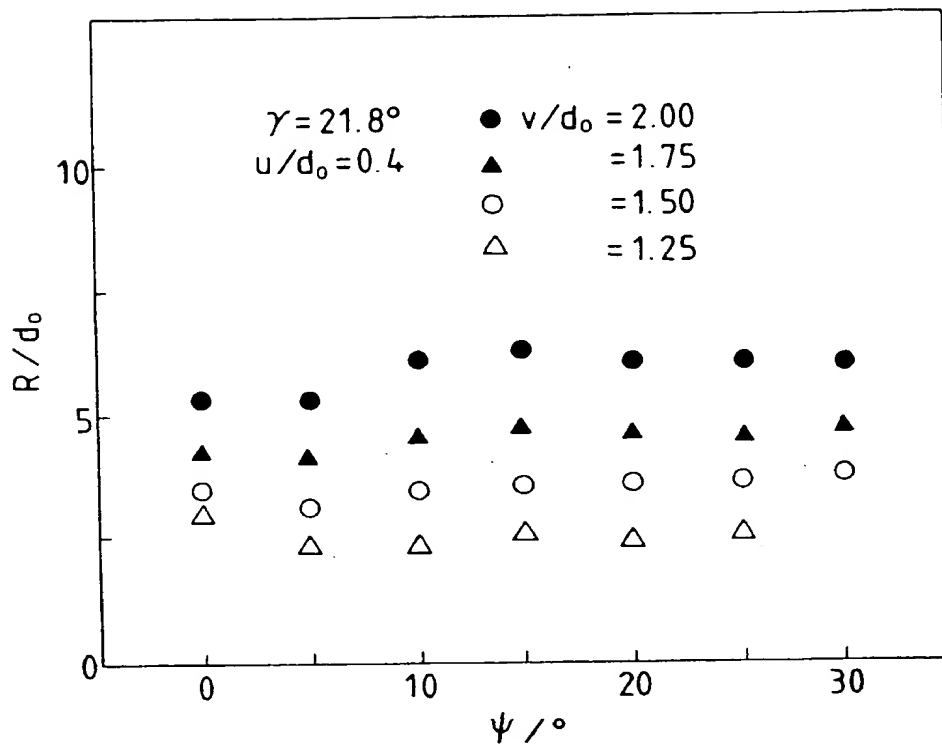


FIG. 6

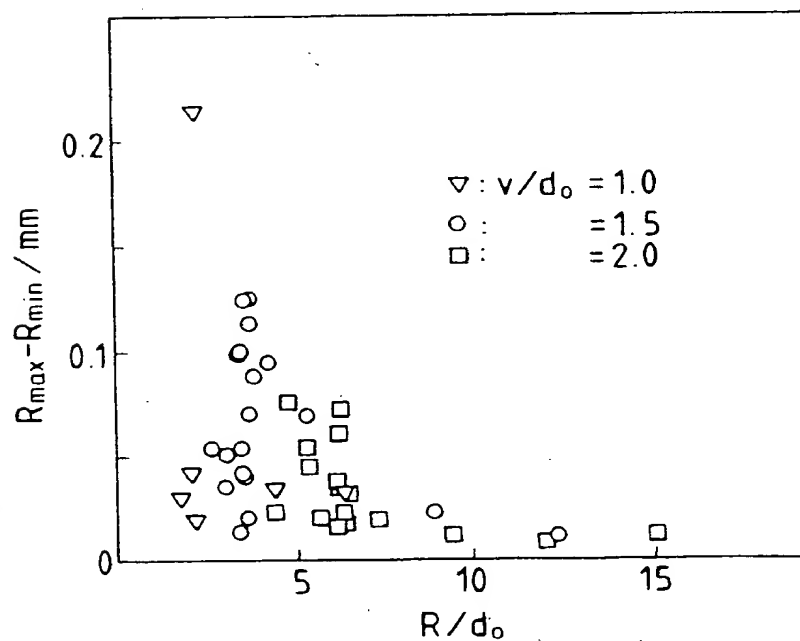


FIG. 7

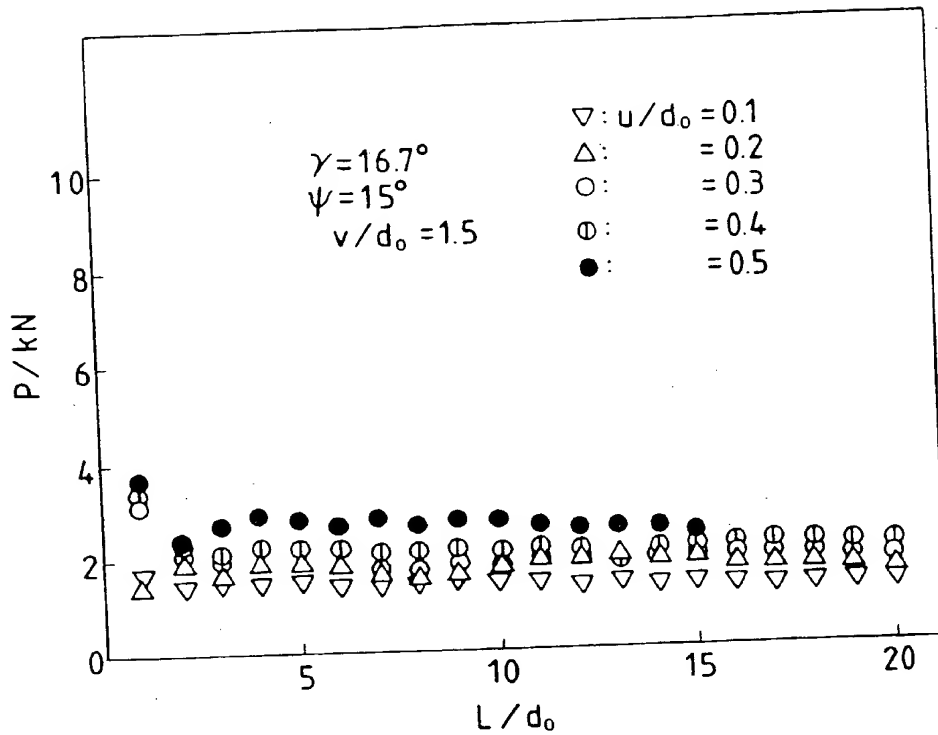


FIG. 8

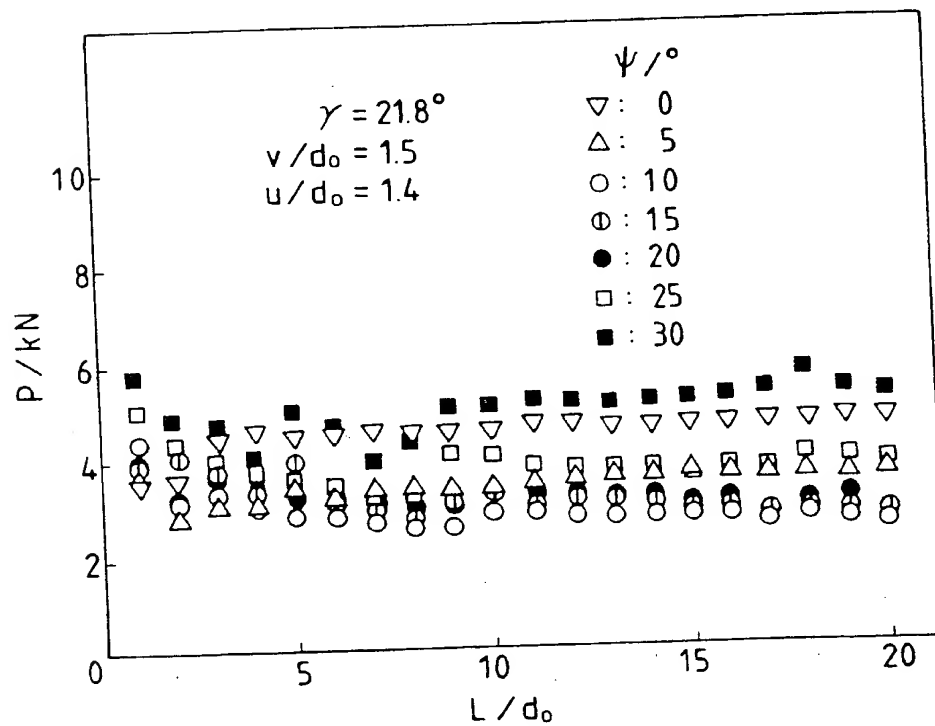


FIG. 9

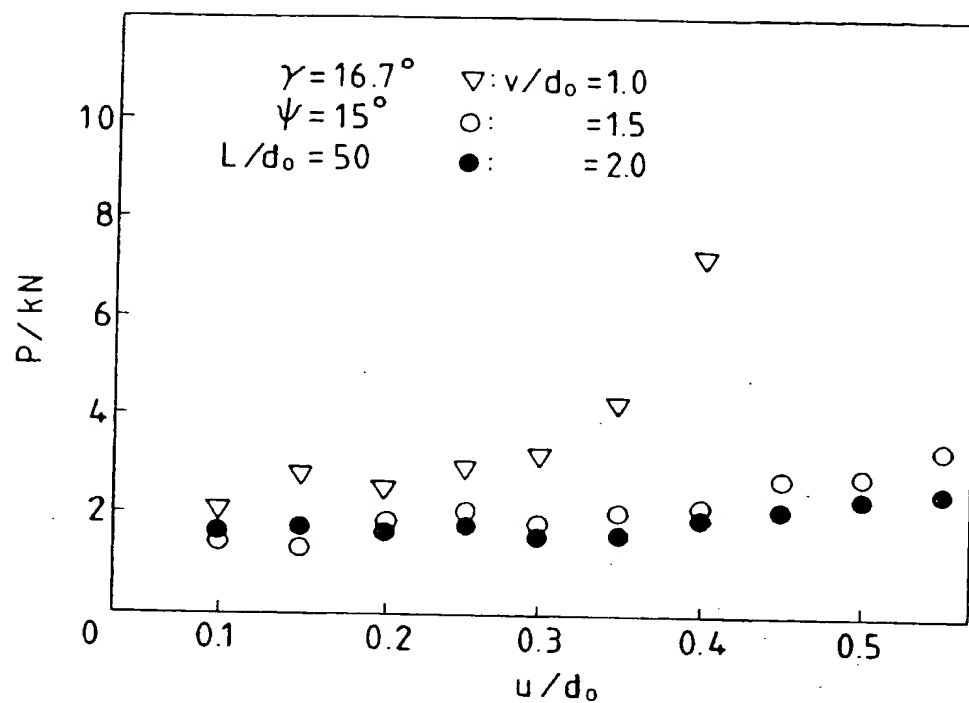


FIG. 10

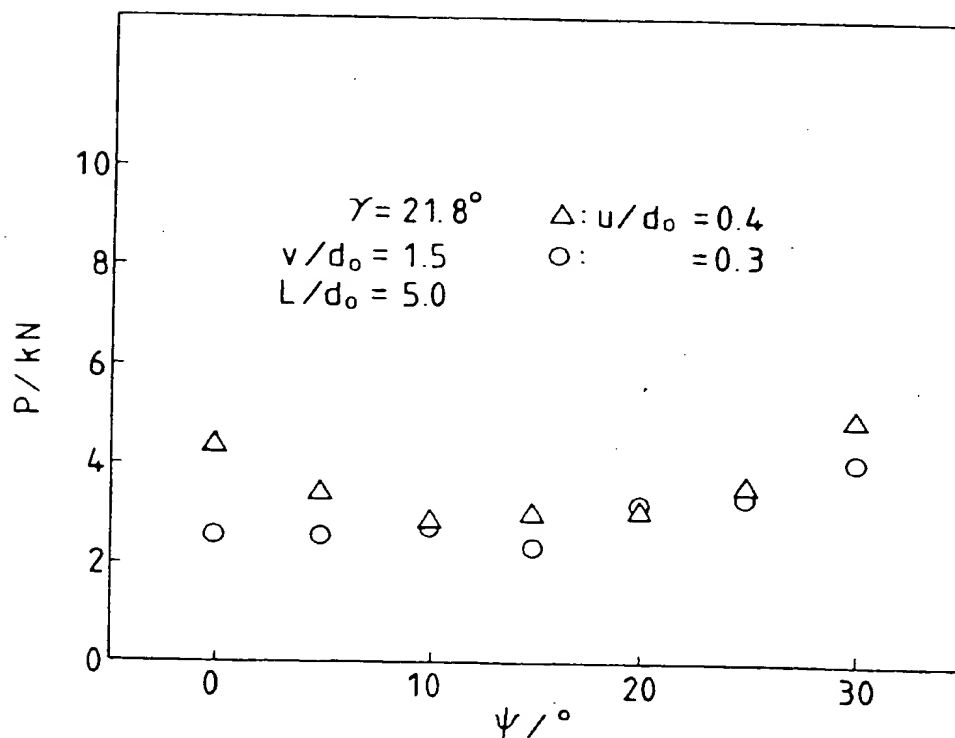


FIG. 11

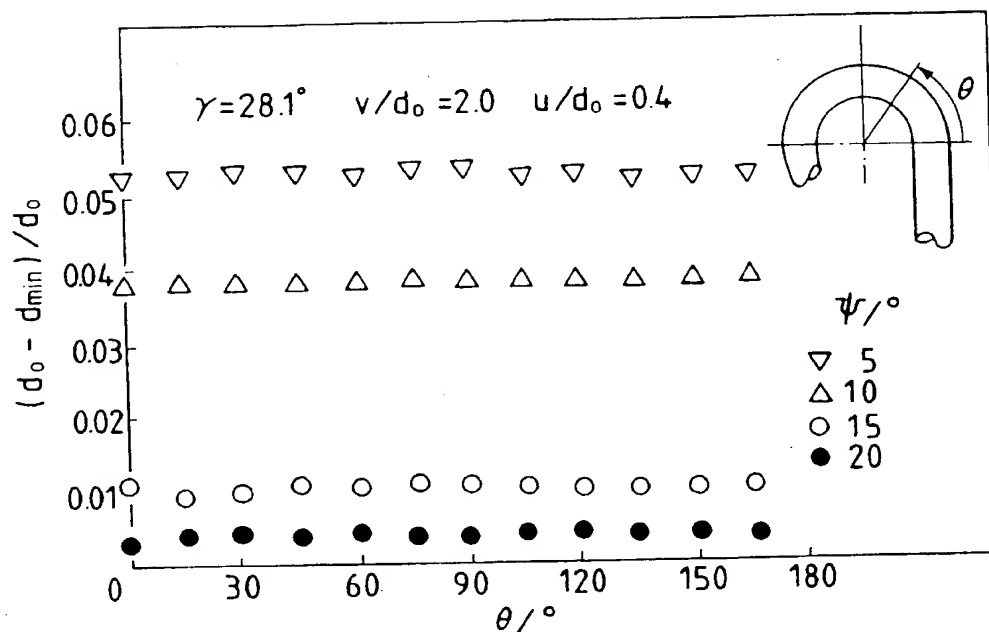


FIG. 12

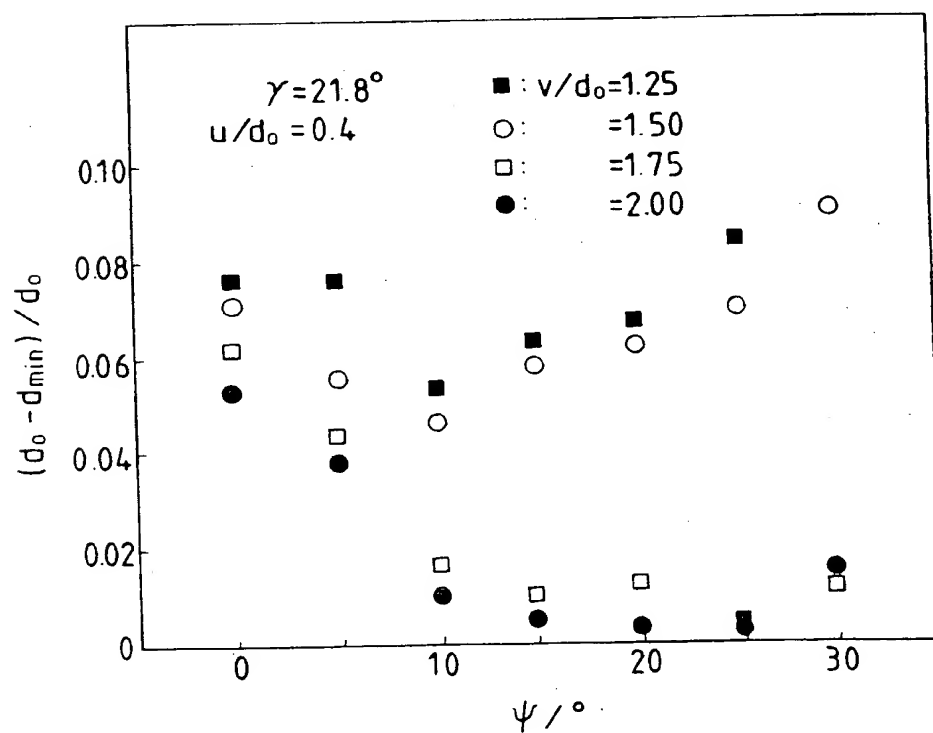


FIG. 13

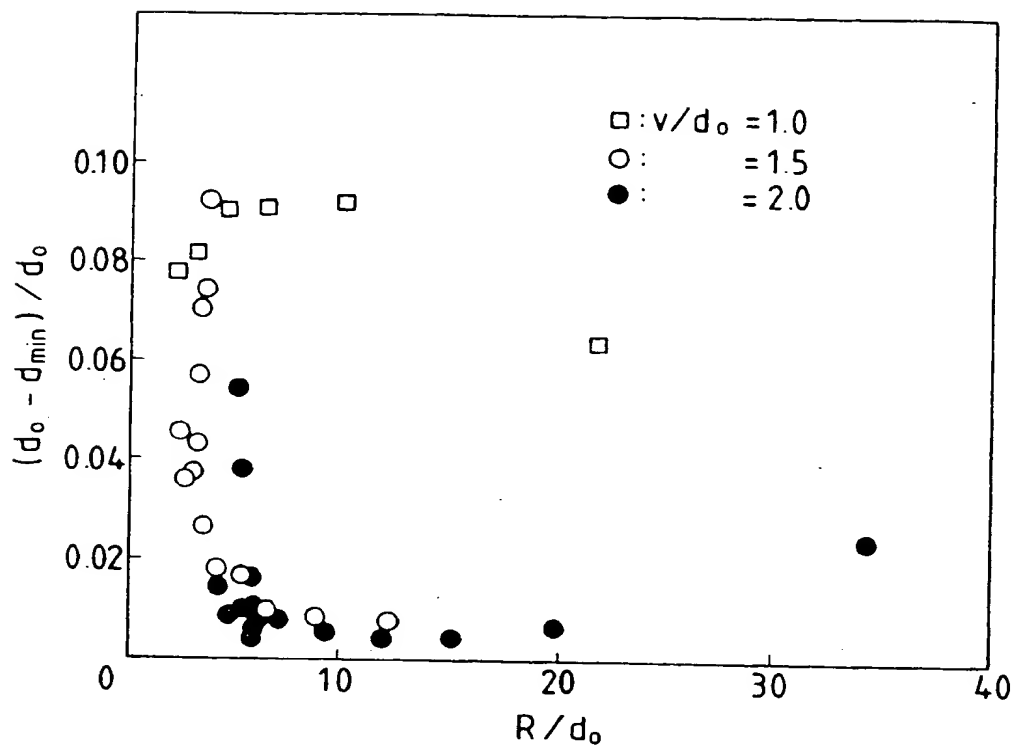


FIG. 14

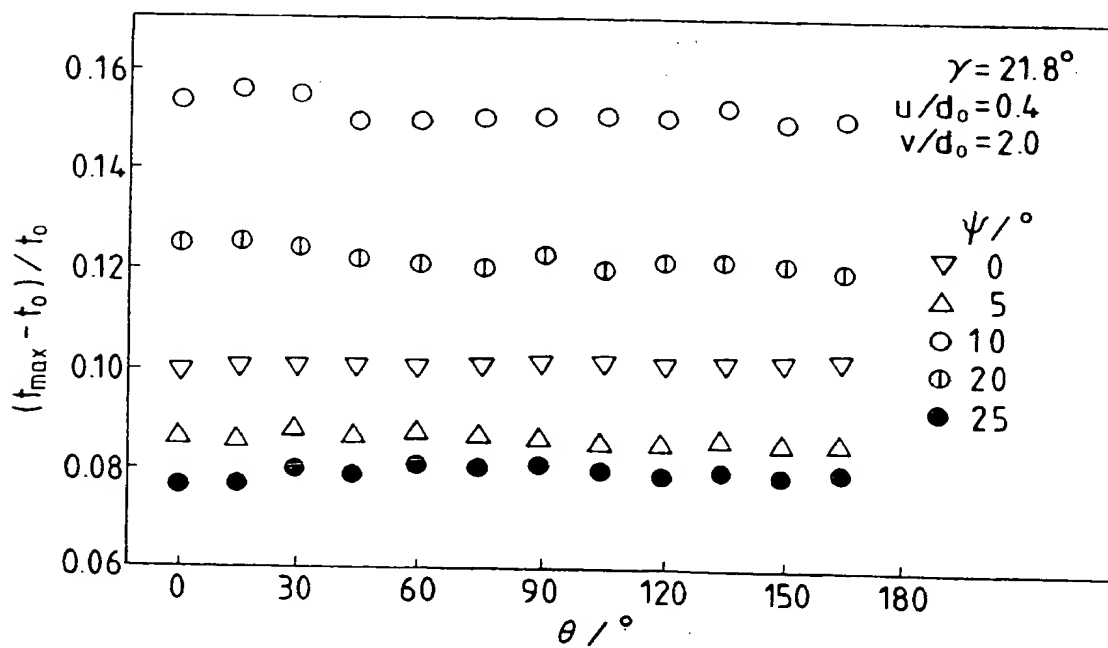


FIG. 15

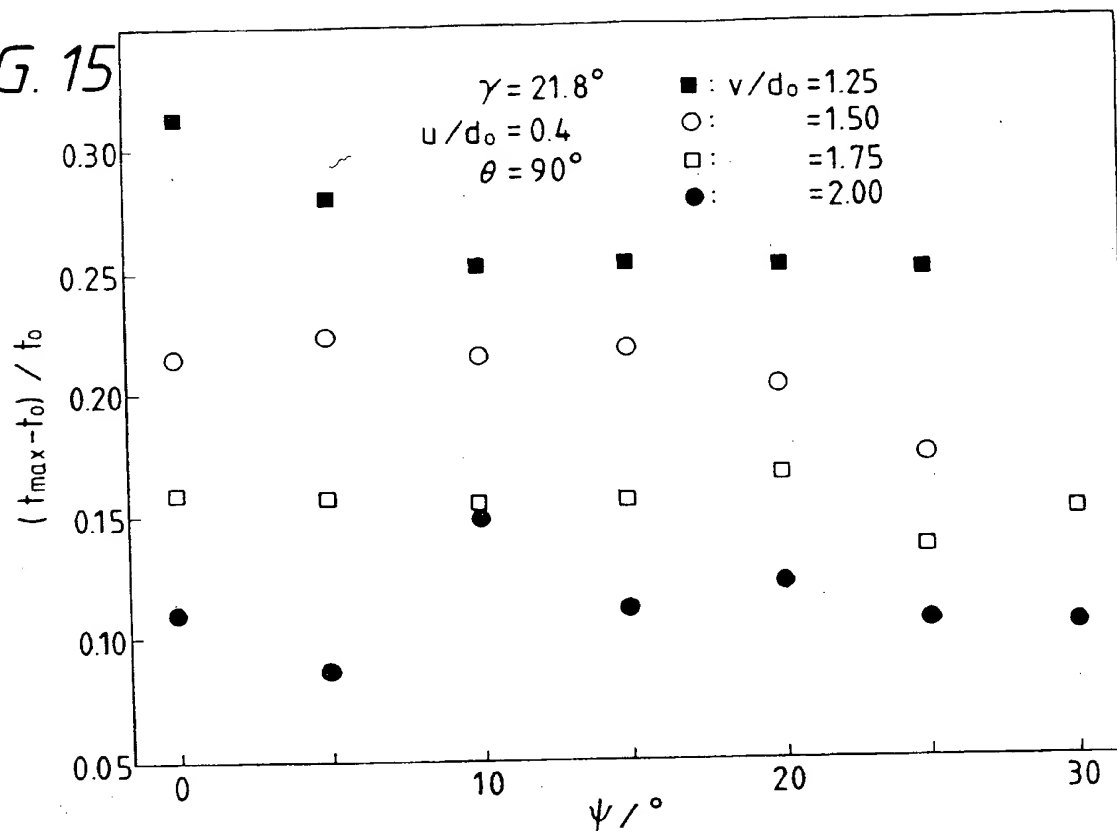


FIG. 16

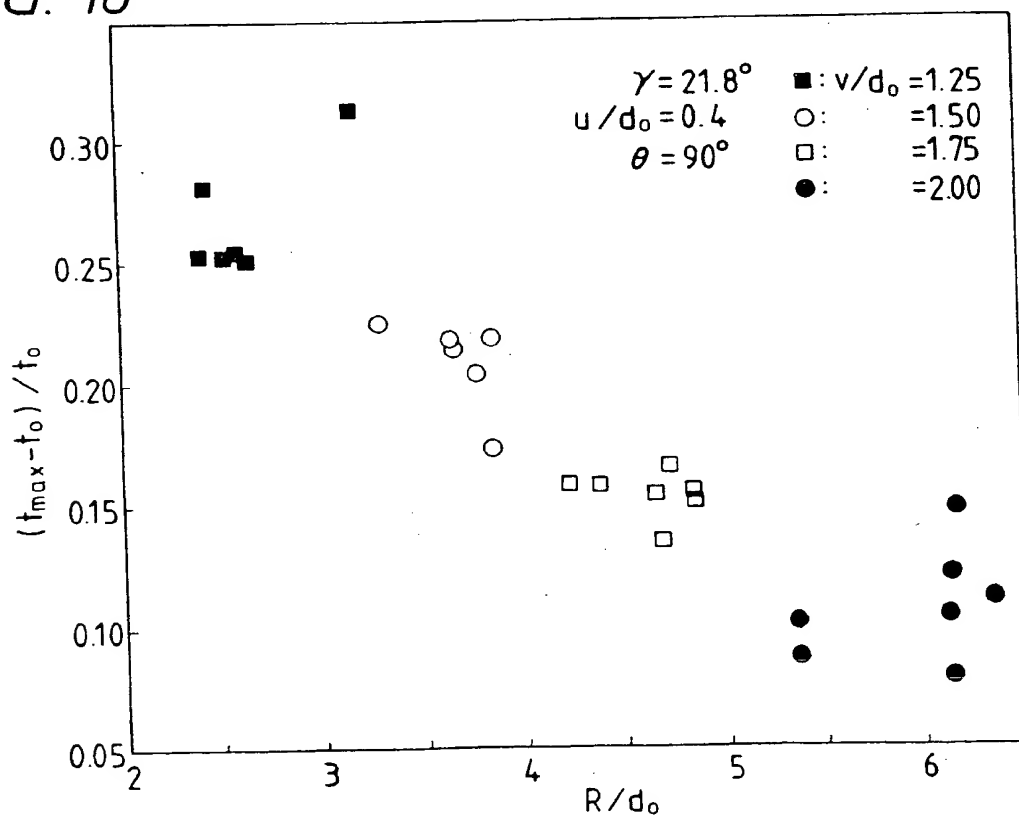




FIG. 17

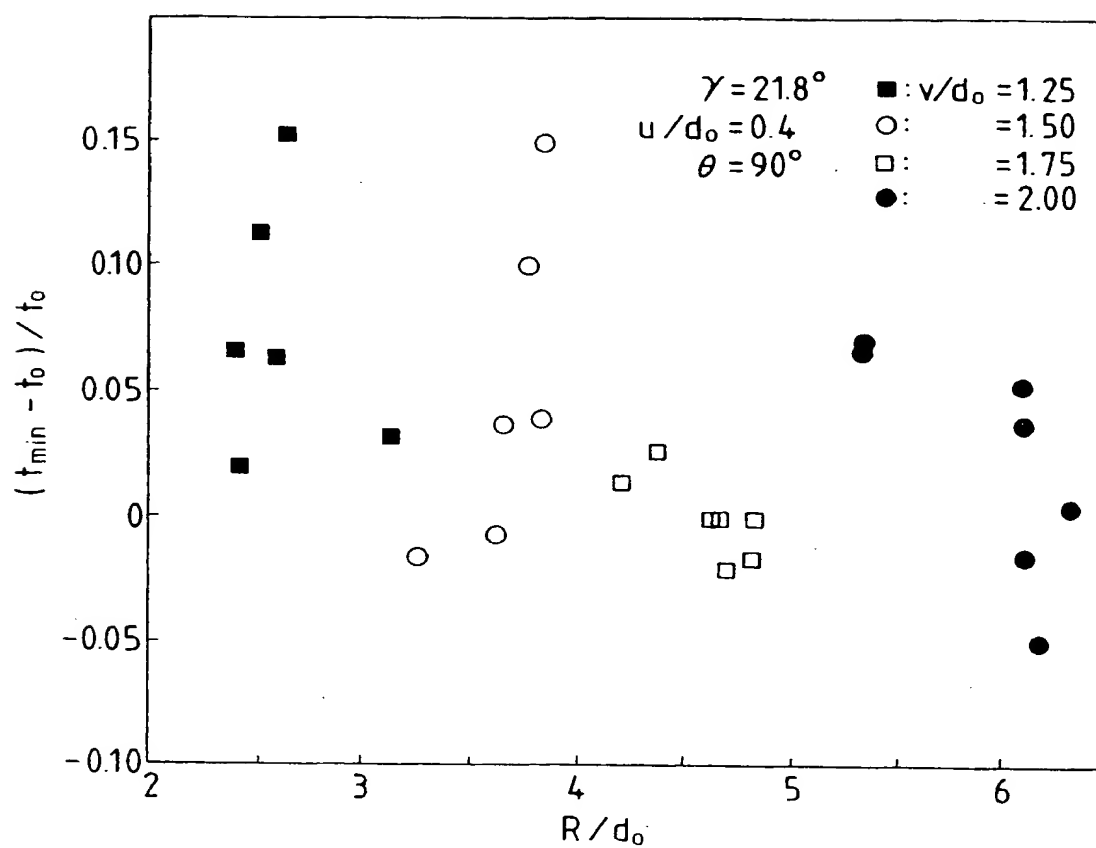


FIG. 18

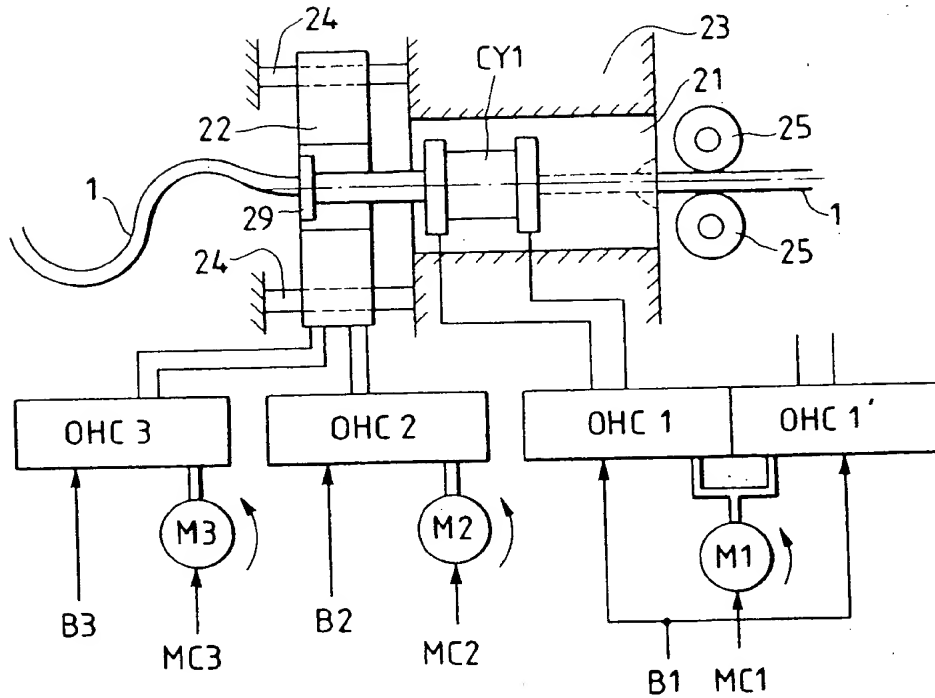


FIG. 19

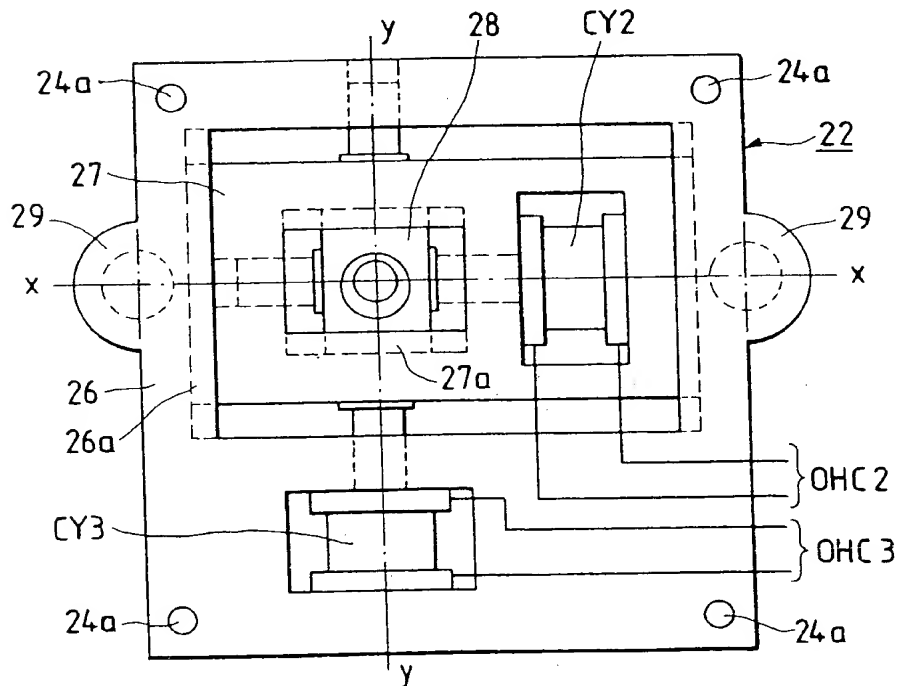


FIG. 20

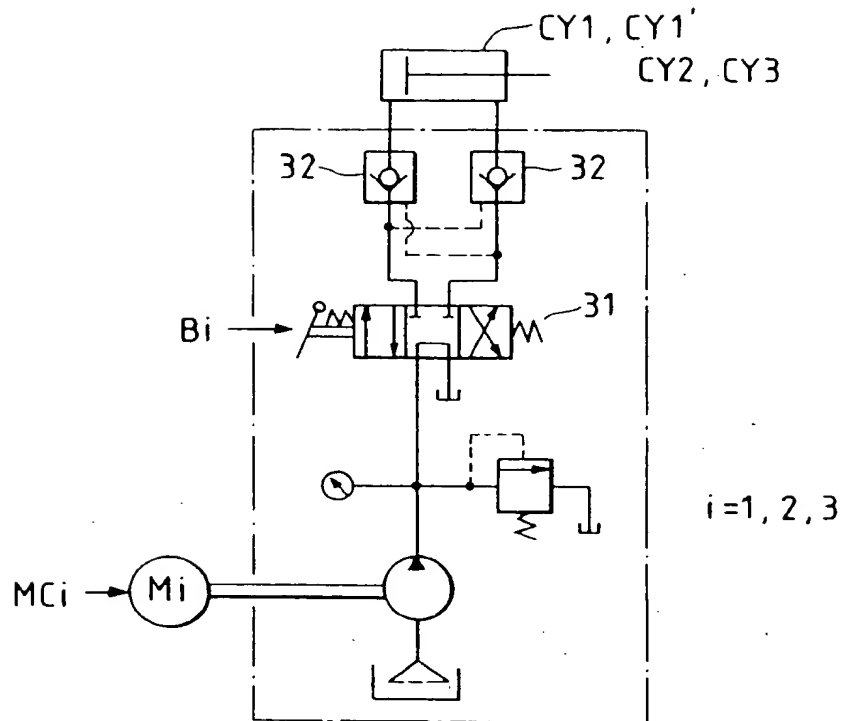


FIG. 21

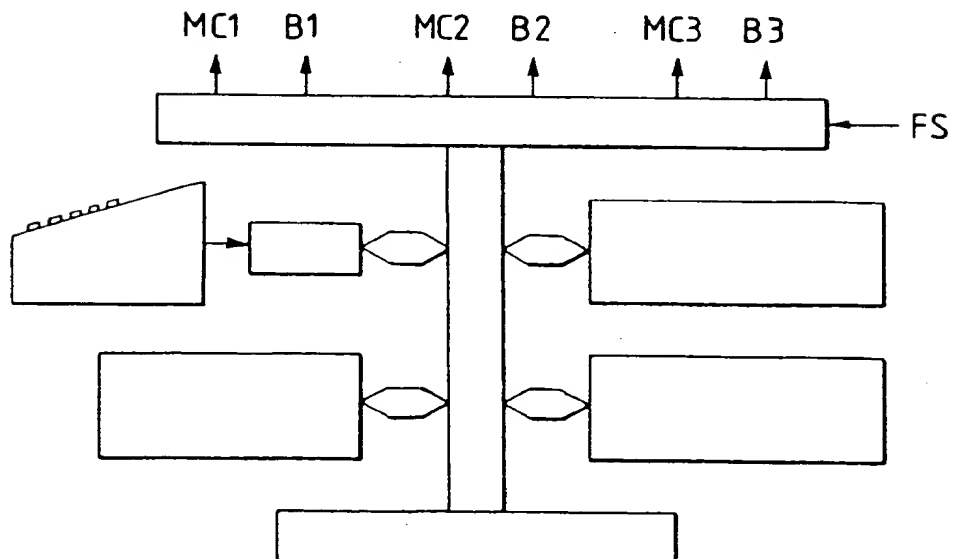


FIG. 22

